

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-274201

(43)Date of publication of application : 05.10.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/60

(21)Application number : 2000-087676

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 27.03.2000

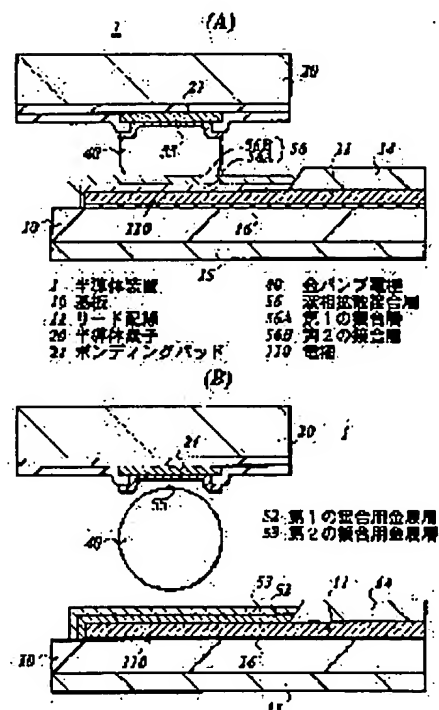
(72)Inventor : TANE YASUO
SHIMIZU YOSHIYUKI
HIRUTA YOICHI

(54) ELECTRONIC DEVICE AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electronic device that has an electrode which is jointable at a low temperature, and can increase the junction strength of the electrode.

SOLUTION: In a semiconductor device (an electronic device) 1, a liquid phase diffusion junction layer 56 is interposed on an electrode 110, having liquid phase diffusion metal at least on a surface layer to joint a metal bump electrode 40. Copper or the like is used as the liquid phase diffusion metal. The liquid phase diffusion junction layer 56 is made of a first metal layer 52 for junction, that is combined (liquid phase diffusion) with the liquid phase diffusion metal, and a second metal for junction that decreases liquid phase diffusion temperature. Tin or the like is used as the first metal layer 52 for jointing, and bismuth or the like is used as a second metal layer 53 for jointing.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

08.03.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-274201

(P2001-274201A)

(43)公開日 平成13年10月5日(2001.10.5)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
H 0 1 L 21/60	3 1 1	H 0 1 L 21/60	3 1 1 W 5 F 0 4 4
			3 1 1 S
		21/92	6 0 3 A

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 21 頁)

(21)出願番号 特願2000-87676(P2000-87676)

(22)出願日 平成12年3月27日(2000.3.27)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72)発明者 種 泰雄

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝マイクロエレクトロニクスセン
ター内

(72)発明者 清水 禎之

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝マイクロエレクトロニクスセン
ター内

(74)代理人 100083806

弁理士 三好 秀和 (外7名)

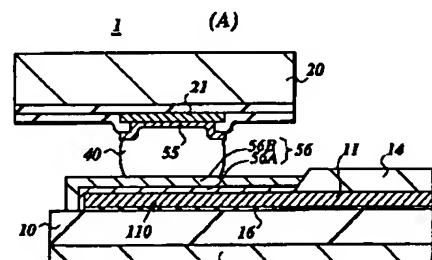
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電子デバイス及びその製造方法

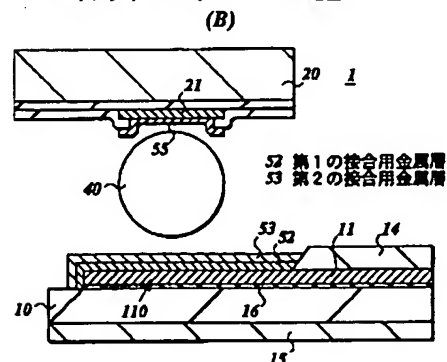
(57)【要約】

【課題】 低温度において接合可能な電極を有し、この電極の接強度を向上することができる電子デバイスを提供する。

【解決手段】 半導体装置(電子デバイス)1において、少なくとも表面層に液相拡散金属を有する電極110上に液相拡散接合層56を介在させて金パンプ電極40が接合されている。液相拡散金属には例えば銅が使用される。液相拡散接合層56は、液相拡散金属と化合(液相拡散)させる第1の接合用金属層52と、液相拡散温度を下げる第2の接合用金属層53により生成されている。第1の接合用金属層52には例えば銅が使用され、第2の接合用金属層53には例えばビスマスが使用される。



1 半導体装置
10 基板
11 リード配線
20 半導体素子
21 ボンディングパッド
40 金パンプ電極
56 液相拡散接合層
56A 第1の接合層
56B 第2の接合層
110 電極



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 少なくとも表面層に液相拡散金属を有する電極と、

前記電極上に配設され、前記液相拡散金属と化合させる第 1 の接合用金属層と、

前記第 1 の接合用金属層上に配設され、前記液相拡散金属と第 1 の接合用金属層との化合温度を下げる第 2 の接合用金属層とを備えたことを特徴とする電子デバイス。

【請求項 2】 前記液相拡散金属は、銅、金、アルミニウム、ニッケル、セラミックスのいずれかであることを特徴とする請求項 1 に記載の電子デバイス。

【請求項 3】 前記第 1 の接合用金属層は、錫、鉛若しくはインジウム、又はそれらいずれかを主成分とする二元以上の合金であることを特徴とする請求項 2 に記載の電子デバイス。

【請求項 4】 前記第 2 の接合用金属層は、少なくともビスマス、銀若しくはインジウム、又はそれらいずれかを主成分とする二元以上の合金であることを特徴とする請求項 2 に記載の電子デバイス。

【請求項 5】 前記液相拡散金属は、圧延薄膜であることを特徴とする請求項 1 に記載の電子デバイス。

【請求項 6】 少なくとも表面層に液相拡散金属を有する第 1 の電極と、
前記液相拡散金属、この液相拡散金属に化合させる第 1 の接合用金属、及び前記液相拡散金属と第 1 の接合用金属との化合温度を下げる第 2 の接合用金属を少なくとも含む、前記第 1 の電極上の液相拡散接合層と、
前記液相拡散接合層上の第 2 の電極とを備えたことを特徴とする電子デバイス。

【請求項 7】 少なくとも下記工程を備えたことを特徴とする電子デバイスの製造方法。

(1) 少なくとも表面層に液相拡散金属を有する第 1 の電極を形成する工程

(2) 前記液相拡散金属上にそれと化合させる第 1 の接合用金属を形成する工程

(3) 前記第 1 の接合用金属上に、前記液相拡散金属と第 1 の接合用金属との化合温度を下げる第 2 の接合用金属を形成する工程

(4) 前記第 2 の接合用金属上に第 2 の電極を形成する工程

(5) 前記第 2 の接合用金属により前記液相拡散金属と第 1 の接合用金属とを化合させて液相拡散接合層を形成し、前記第 1 の電極と第 2 の電極との間を接合する工程

【請求項 8】 少なくとも下記工程を備えたことを特徴とする電子デバイスの製造方法。

(1) 少なくとも表面層に第 1 の液相拡散金属を有する第 1 の電極を形成する工程

(2) 前記第 1 の液相拡散金属上にそれと化合させる第 1 の接合用金属を形成する工程

(3) 前記第 1 の接合用金属上に、前記第 1 の液相拡散

金属と第 1 の接合用金属との化合温度を下げる第 2 の接合用金属を形成する工程

(4) 少なくとも表面層に第 2 の液相拡散金属を有する第 2 の電極を形成する工程

(5) 前記第 2 の液相拡散金属上にそれと化合させる第 3 の接合用金属を形成する工程

(6) 前記第 3 の接合用金属上に、前記第 2 の液相拡散金属と第 3 の接合用金属との化合温度を下げる第 4 の接合用金属を形成する工程

(7) 前記第 2 の接合用金属及び第 4 の接合用金属により、第 1 の液相拡散金属と第 1 の接合用金属とを化合させ、かつ第 2 の液相拡散金属と第 3 の接合用金属とを化合させ、前記第 1 の電極と第 2 の電極との間を接合する工程

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子デバイス及びその製造方法に関し、電極間の低温度接合に好適な電子デバイス及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】薄型で比較的低コストで製作することができる半導体装置として、テープオートメテッドボンディング（以下、単にTABという。）構造を採用する半導体装置、フリップチップ（以下、単にFCという。）構造を採用する半導体装置がある。

【0003】TAB構造を採用する半導体装置は半導体素子（半導体チップ）とフレキシブルなテープ基板とを備えて構成されている。半導体素子のボンディングパッド（電極）とテープ基板のリードとの間は、例えば金バンプ電極を介在させ、熱圧着ボンディングにより、電気的かつ機械的に接続されている。

【0004】一方、FC構造を採用する半導体装置は、TAB構造を採用する半導体装置と類似しており、半導体素子とテープ基板とを備えて構成されている。半導体素子はその素子形成面をテープ基板の表面に向かい合うようにマウントされ、半導体素子のボンディングパッドとテープ基板のリード配線との間は、例えば金バンプ電極を介在させ、熱圧着ボンディングにより、電気的かつ機械的に接続されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記TAB構造を採用する半導体装置、FC構造を採用する半導体装置のそれぞれにおいては、以下の点について配慮がなされていなかった。

【0006】半導体素子のボンディングパッドとテープ基板のリード又はリード配線との熱圧着ボンディングには約500℃前後の高温度が使用されている。このため、樹脂を主成分とするテープ基板には耐熱性が要求され、耐熱性を有するテープ基板は高価である。従って、最終製品としての半導体装置は高価になってしまうとい

う問題点があった。

【0007】本発明は上記課題を解決するためになされたものである。従って、本発明の目的は、低温度において接合可能な電極を有する電子デバイスを提供することである。

【0008】さらに、本発明の目的は、耐熱性を必要としない部品、材料等の使用により、製品コストを減少することができる電子デバイスを提供することである。

【0009】さらに、本発明の目的は、電極の接合強度を向上することができ、電極の接合部の電氣的かつ機械的信頼性を向上することができる電子デバイスを提供することである。

【0010】さらに、本発明の目的は、電極間の接合を低温度にすることができる電子デバイスの製造方法を提供することである。

【0011】さらに、本発明の目的は、製造コストを減少することができる電子デバイスの製造方法を提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の第1の特徴は、少なくとも表面層に液相拡散金属を有する電極と、この電極上に配設され、液相拡散金属と化合させる第1の接合用金属層と、第1の接合用金属層上に配設され、液相拡散金属と第1の接合用金属層との化合温度を下げる第2の接合用金属とを備えた電子デバイスとしたことである。

【0013】ここで、「電子デバイス」とは、電子素子若しくは電子部品、又はそれらを組み合わせて構築した実装装置を含む意味で使用される。例えば、電子素子には、半導体素子、抵抗素子、容量素子等が含まれる。電子部品には、基板、リード、パッケージ等が含まれる。実装装置には、パッケージや基板に複数の半導体素子を実装した装置、例えば半導体モジュール、実装ボード等が含まれる。「少なくとも表面層に液相拡散金属を有する電極」とは、全体が液相拡散金属で形成された電極、表面層の一部に液相拡散金属を有する電極が少なくとも含まれる意味で使用される。「電極」とは、電流や電圧を入力、出力又は入出力するための電氣的接続端子という意味で使用され、この「電極」には単一の電極、配線の電極、リードの電極等が少なくとも含まれる。さらに、「電極」には、電子デバイスの内部の他の電極に接続される電極、電子デバイスの外部（例えば、他の電子デバイスや装置）の他の電極に接続される電極が少なくとも含まれる意味で使用される。

【0014】本発明の第1の特徴に係る電子デバイスにおいて、「液相拡散金属」とは、この液相拡散金属よりも融点の低い「第1の接合用金属」を熔融すると、接合すべき金属との間に相互拡散を生じ、等温凝固し、液相拡散接合層を生成する金属という意味で使用される。この「液相拡散金属」には、銅(Cu)、金(Au)、

アルミニウム(Al)、ニッケル(Ni)、セラミックス(Al_2O_3)等が少なくとも含まれる。

【0015】「第1の接合用金属層」には、錫(Sn)、鉛(Pb)若しくはインジウム(In)、又はそれらいずれかを主成分とする二元以上の合金が少なくとも含まれる。「第1の接合用金属層の二元以上の合金」には、例えばIn-Ag、In-Sn、Bi-Sn、Bi-Pb、Bi-In等の二元合金、In-Pb-Ag、Bi-Sn-Pb等の三元合金、Bi-In-Pb-Sn等の四元合金が含まれる。勿論、「第1の接合用金属層」には五元以上の合金が含まれる。

【0016】第2の接合用金属層の「液相拡散金属と第1の接合用金属層との化合温度を下げる」とは、液相拡散金属の液相拡散温度、すなわち液相拡散金属と第1の接合用金属層との熔融温度を下げるという意味で使用される。「第2の接合用金属層」には、少なくともビスマス(Bi)、銀(Ag)若しくはIn、又はそれらいずれかを主成分とする二元以上の合金が含まれる。この「二元以上の合金」とは、「第1の接合用金属層の二元以上の合金」と同様の意味で使用され、三元合金、四元合金及び五元以上の合金が含まれる意味で使用される。

【0017】このように構成される本発明の第1の特徴に係る電子デバイスにおいては、電極とそれに接続される他の電極との間の液相拡散による接合温度を第2の接合用金属により下げ、なおかつ双方の間の接合強度を第2の接合用金属により高めることができるので、この電子デバイスを構築する部品、材料等の耐熱温度を下げることができる。従って、これらの部品、材料等のコストを低減することができるので、電子デバイスの製品コストを削減することができる。さらに、電子デバイスの製造プロセスにおいて低温度プロセスを採用することができるので、より一層電子デバイスの製品コストを削減することができる。

【0018】本発明の第2の特徴は、本発明の第1の特徴に係る電子デバイスにおいて、液相拡散金属を圧延薄膜としたことである。ここで、「圧延薄膜」とは、少なくとも液相拡散金属に圧延処理を施した薄膜をいう意味で使用される。この「圧延薄膜」は、例えば、液相拡散金属にCuが使用される場合、100℃～300℃の低温度において1μm～20μmの粒径の範囲で再結晶化される性質を有し、「電解薄膜」の再結晶化の粒径に比べて粒径サイズが大きくなる薄膜である。

【0019】このように構成される本発明の第2の特徴に係る電子デバイスにおいては、液相拡散金属を圧延薄膜としたことにより、液相拡散金属の粒径サイズを大きくし、接合面積を増加することができるので、電極の接合強度を向上することができる。

【0020】本発明の第3の特徴は、少なくとも表面層に液相拡散金属を有する第1の電極と、液相拡散金属、この液相拡散金属に化合させる第1の接合用金属、及び

液相拡散金属と第1の接合用金属との化合温度を下げる第2の接合用金属を少なくとも含む、第1の電極上の液相拡散接合層と、液相拡散接合層上の第2の電極とを備えた電子デバイスとしたことである。

【0021】ここで、「液相拡散接合層」とは、第2の接合用金属により化合温度を下げた状態において、少なくとも第1の電極の液相拡散金属と第1の接合用金属とを化合させた結果、生成された接合層という意味で使用される。従って、「液相拡散接合層」の主成分は液相拡散金属及び第1の接合用金属であり、「液相拡散接合層」に主成分として第2の接合用金属が含まれていても、含まれていなくてもよい。

【0022】このように構成される本発明の第3の特徴に係る電子デバイスにおいては、第1の電極とそれに接続される第2の電極との間の液相拡散による接合温度を第2の接合用金属により下げ、なおかつ双方の間の接合強度を第2の接合用金属により高めることができる液相拡散接合層を備え、この液相拡散接合層により第1の電極と第2の電極との間を接合することができるので、この電子デバイスを構築する部品、材料等の耐熱温度を下20 げることができる。従って、これらの部品、材料等のコストを低減することができるので、電子デバイスの製品コストを削減することができる。さらに、電子デバイスの製造プロセスにおいて低温度プロセスを採用することができるので、より一層電子デバイスの製品コストを削減することができる。

【0023】本発明の第4の特徴は、少なくとも表面層に液相拡散金属を有する第1の電極を形成する工程と、液相拡散金属上にそれと化合させる第1の接合用金属を形成する工程と、第1の接合用金属上に、液相拡散金属と第1の接合用金属との化合温度を下げる第2の接合用金属を形成する工程と、第2の接合用金属上に第2の電極を形成する工程と、第2の接合用金属により液相拡散金属と第1の接合用金属とを化合させて液相拡散接合層を形成し、第1の電極と第2の電極との間を接合する工程とを少なくとも備えた電子デバイスの製造方法としたことである。

【0024】このような本発明の第4の特徴に係る電子デバイスの製造方法においては、液相拡散金属と第1の接合用金属との化合温度を第2の接合用金属により下20 げることができるので、電極間の接合温度を下げて低温度プロセスを実現することができる。

【0025】本発明の第5の特徴は、少なくとも表面層に第1の液相拡散金属を有する第1の電極を形成する工程と、第1の液相拡散金属上にそれと化合させる第1の接合用金属を形成する工程と、第1の接合用金属上に、第1の液相拡散金属と第1の接合用金属との化合温度を下げる第2の接合用金属を形成する工程と、少なくとも表面層に第2の液相拡散金属を有する第2の電極を形成する工程と、第2の液相拡散金属上にそれと化合させる

第3の接合用金属を形成する工程と、第3の接合用金属上に、第2の液相拡散金属と第3の接合用金属との化合温度を下げる第4の接合用金属を形成する工程と、第2の接合用金属及び第4の接合用金属により、第1の液相拡散金属と第1の接合用金属とを化合させ、かつ第2の液相拡散金属と第3の接合用金属とを化合させ、第1の電極と第2の電極との間を接合する工程とを少なくとも備えた電子デバイスの製造方法としたことである。

【0026】このような本発明の第5の特徴に係る電子デバイスの製造方法においては、本発明の第4の特徴に係る電子デバイスの製造方法と同様に、第1の液相拡散金属と第1の接合用金属との化合温度を第2の接合用金属により下げることができ、第2の液相拡散金属と第3の接合用金属との化合温度を第4の接合用金属により下げることができるので、第1の電極と第2の電極との間の接合温度を下げて低温度プロセスを実現することができる。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して詳細に説明する。なお、本発明の実施の形態に係る「半導体素子（半導体チップ）」、「基板」、「半導体装置」、「半導体モジュール」等は本発明に係る「電子デバイス」を具現化したものであり、本発明の実施の形態に係るこれらの半導体素子等の説明を行うとともに、併せて本発明に係る「電子デバイス」の説明を行う。

【0028】（第1の実施の形態）本発明の第1の実施の形態は、ボールボンディングアレイ構造を採用し、かつフリップチップ—インナーリードボンディング（以下、単にFC—ILBという。）方式を採用する半導体装置（電子デバイス）に本発明を適用した例を説明するものである。

【0029】[半導体装置の構造] 図2に示すように、本発明の第1の実施の形態に係るFC—ILB方式を採用する半導体装置1は、基板10と、基板10上のFC構造でマウントされた半導体素子（半導体チップ）20と、半導体素子20を保護する保護樹脂30と、半導体素子20及び基板10上のリード配線11を保護するスティフナー31とを備えて構築されている。さらに、半導体装置1は、基板10の裏面に配設された外部端子12上に半田ボール電極41を備えている。

【0030】基板10には低い耐熱性を有するTABテープ基板が使用されている。本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1の基板10としては、例えば150℃～300℃の範囲の耐熱性を有するポリイミド系樹脂テープ基板を実用的に使用することができる。このポリイミド系樹脂テープ基板は適度なフレキシブル性を備えている。

【0031】基板10の表面上（図中上側表面）にはリード配線11が配設されている。図1（A）に示すよう

に、リード配線 11 は接着層 16 を介在させて基板 10 の表面に接着されている。この接着層 16 には例えば樹脂系接着剤を実用的に使用することができる。基板 10 の中央部分（半導体素子 20 のマウント領域）において、リード配線 11 の一端側は電極 110 として使用されている。この電極 110 は、本発明に係る「電極」、「第 1 の電極」又は「第 2 の電極」の一具体例に対応するものである。基板 10 の周辺部分においてリード配線 11 の他端側は接続孔配線 13 を通して基板 10 の裏面の外部端子 12 に電気的に接続されている。リード配線 11 は電気伝導性に優れ、かつ液相拡散金属である例えば Cu 箔膜を実用的に使用することができ、この Cu 箔膜は例えば 20 μm の膜厚で形成されている。リード配線 11 の少なくとも電極 110 の表面には研磨処理、Cu めっき処理等を行い、電極 110 の表面粗さ R_{max} は 0.2 μm 以下に設定されることが好ましい（本発明の第 8 の実施の形態を参照。）。外部端子 12 には、リード配線 11 と同様に、例えば Cu 箔膜を実用的に使用することができる。接続孔配線 13 には、例えば Cu めっき膜を実用的に使用することができる。

【0032】基板 10 において、表面側はリード配線 11 の電極 110 の領域を除きソルダーレジスト膜 14 により被覆され、裏面側は外部端子 12 の領域を除きソルダーレジスト膜 15 により被覆されている。

【0033】半導体素子 20 は本発明の第 1 の実施の形態においてシリコン単結晶チップで構成され、半導体素子 20 の主面には記憶回路若しくは論理回路、又はそれらを組み合わせた集積回路が搭載されている。本発明の第 1 の実施の形態に係る半導体装置 1 においては FCB-L 方式が採用されているので、半導体素子 20 はその主面を基板 10 の表面に向かい合わせたフェイスダウン方式でマウントされている。半導体素子 20 の主面には上記記憶回路等に接続された複数のボンディングパッド（電極）21 が配設されている。ボンディングパッド 21 は、例えば半導体素子 20 の回路間や素子間を電気的に接続する配線と同一導電層、例えば Al 膜、Al 合金（Al-Si、Al-Cu、Al-Cu-Si 等）膜により形成されている。

【0034】そして、図 1 (A) 及び図 2 に示すように、本発明の第 1 の実施の形態に係る半導体装置 1 においては、少なくとも表面層に液相拡散金属を有するリード配線 11 の電極 110 と、液相拡散金属、この液相拡散金属に化合させる第 1 の接合用金属、及び液相拡散金属と第 1 の接合用金属との化合温度を下げる第 2 の接合用金属を少なくとも含む、電極 110 上の液相拡散接合層 56 と、液相拡散接合層 56 上の金バンプ電極 40 とを備え、液相拡散接合層 56 及び金バンプ電極 40 とを介在させて電極 110 と半導体素子 20 のボンディングパッド 21 との間が電気的かつ機械的に接続されている。すなわち、半導体素子 20 は基板 10 上にマウント

されている。なお、金バンプ電極 40 は本発明に係る「第 2 の電極」の一具体例に対応するものである。

【0035】ここで、電極 110 はその全体が液相拡散金属である Cu 箔膜により形成されている。第 1 の接合用金属には、例えば Sn を実用的に使用することができ、第 2 の接合用金属には、例えば Bi を実用的に使用することができる。従って、本発明の第 1 の実施の形態に係る液相拡散接合層 56 は、第 2 の接合用金属である Bi により化合温度を下げた状態において、少なくとも電極 110 でありかつ液相拡散金属である Cu と第 2 の接合用金属である Sn とを化合させた結果、生成された接合層である。実際には、図 1 (A) に示すように、電極 110 上の Cu_3Sn からなる第 1 の接合層 56A と、この第 1 の接合層 56A 上の Cu_6Sn_5 からなる第 2 の接合層 56B とにより、液相拡散接合層 56 が構成されている。

【0036】リード配線 11 の電極 110 と液相拡散接合層 56 を介在させた金バンプ電極 40 との間の接合前には、図 1 (B) に示すように、電極 110 上に配設され液相拡散金属と化合させる第 1 の接合用金属層 52 と、第 1 の接合用金属層 52 上に配設され液相拡散金属と第 1 の接合用金属層 52 との化合温度を下げる第 2 の接合用金属層 53 とが構成されており、この第 1 の接合用金属層 52 及び第 2 の接合用金属層 53 から液相拡散接合層 56 が生成されている。本発明の第 1 の実施の形態において、第 1 の接合用金属層 52 には例えば膜厚が 10 μm の Sn めっき層を実用的に使用することができ、第 2 の接合用金属には例えば膜厚が 10 μm の Bi めっき層を実用的に使用することができる。

【0037】図 4 (A) に示すように電極 110 上に第 1 の接合用金属層（Sn めっき層）52 の単一層を形成し、この第 1 の接合用金属層 52 に 150℃ の温度のアニール処理を行うと、図 4 (B) に示すように Sn の融点が 232℃ のために第 1 の接合用金属層 52 は固体状態のまま、図 4 (C) に示すように液相拡散が生じ、電極 110 と第 1 の接合用金属層 52 との間には液相拡散接合層 57 が形成される。この液相拡散接合層 57 は、 Cu_3Sn からなる第 1 の接合層 57A と、この第 1 の接合層 57A 上の Cu_6Sn_5 からなる第 2 の接合層 57B とにより形成されている。図 5 に示すように、液相拡散接合層 57 の第 1 の接合層 57A 及び第 2 の接合層 57B においては、いずれもアニール処理後の放置時間の増加とともに液相拡散が進行し、生成量（膜厚）は増加の傾向を示している。

【0038】これに対して、図 3 (A) に示すように電極 110 上に第 1 の接合用金属層（Sn めっき層）52 と、第 2 の接合用金属層（Bi めっき層）53 の複合層を形成し、この第 1 の接合用金属層 52 及び第 2 の接合用金属層 53 に同様の 150℃ の温度のアニール処理を行うと、図 3 (B) に示すように Sn 及び Bi の融点が

139℃に下がるのでSn及びBiの液層56Dの状態において、図3(C)に示すように液相拡散が生じ、電極110上に液相拡散接合層56が形成される。この液相拡散接合層56は、上記のように第1の接合層56Aと、この第1の接合層56A上の第2の接合層56Bとにより形成されている。図5に示すように、液相拡散接合層56の第1の接合層56A及び第2の接合層56Bにおいては、液相拡散接合層57の第1の接合層57A及び第2の接合層57Bと同様にいずれもアニール処理後の放置時間の増加とともに液相拡散が進行し、生成量は増加の傾向を示しているが、生成量は第1の接合層57A及び第2の接合層57Bに比べて1.3〜2.2倍程度大きくになっている。すなわち、図3(C)に示す液相拡散接合層56の合計膜厚が厚く（液相拡散量が大きく）なり、接合強度が高くなることを意味している。

【0039】図1(A)に示すように、半導体素子20のボンディングパッド21と金バンプ電極40との間はバリヤメタル層55を介在させて電気的かつ機械的に接合されている。このバリヤメタル層55には、例えばチタン(Ti)層とタングステン(W)層との複合膜を実用的に使用することができる。なお、金バンプ電極40に代えて、銅バンプ電極等を使用することができる。

【0040】図2に示すように、半導体素子20の少なくとも主面（素子形成面）は保護樹脂30により被覆されている。この保護樹脂30には例えばポリイミド系樹脂を実用的に使用することができる。

【0041】このように構成される本発明の第1の特徴に係る半導体装置1においては、電極110とそれに接続される他の金バンプ電極40との間の液相拡散による接合温度を第2の接合用金属（例えばBi）により下げ、なおかつ双方の間の接合強度を第2の接合用金属により高めることができるので、部品、材料等の耐熱温度、特に基板10の耐熱温度を下げることができる。従って、基板10には耐熱温度が低い、例えば300℃以下の耐熱温度を有しかつ安価な、銅箔/接着層/ポリイミド系樹脂のテープ基材を使用することができるので、半導体装置1の製品コストを削減することができる。

【0042】〔半導体装置の製造方法〕次に、図6乃至図13を使用し、上記半導体装置1の製造方法を説明する。

【0043】(1) まず最初に、図6に示すように、基板10が準備される。この基板10の表面上にはリード配線11が形成され、裏面上にはリード配線11に接続孔配線13を通して電気的に接続された外部端子12が形成されている（図2参照。）。さらに、基板10の表面側において、リード配線11の一端側は電極110として露出されており、リード配線11の周辺部分はソルダーレジスト膜14により被覆されている。基板10の裏面上は外部端子12の領域を除きソルダーレジスト膜15により被覆されている。

【0044】(2) 図7に示すように、リード配線11の電極110の表面上に第1の接合用金属層52を形成する。上記のように、第1の接合用金属層52にはSnめっき層を実用的に使用することができる。

【0045】(3) 引き続き、図8に示すように、第1の接合用金属層52上に第2の接合用金属層53を形成する。上記のように、第2の接合用金属層53にはBiめっき層を実用的に使用することができる。

【0046】(4) 熱圧着ボンディング装置（図9参照。）60において、加熱ステージ61上にフェイスアップで半導体素子20を載置保持する。半導体素子20においては、ボンディングパッド21上にバリヤメタル層55を介在させて金バンプ電極40が配設された状態にある。図9に示すように、加熱ステージ61に載置保持された半導体素子20と、加熱ステージ61上に対向配設された加熱加圧ツール62との間に電極110を下側に向けて基板10を位置決め配置する。

【0047】(5) 図10に示すように、加熱加圧ツール62により基板10の裏面（図10中上側表面）を加熱するとともに加圧し、半導体素子20のボンディングパッド21と基板10の電極110との間を金バンプ電極40を介在させて熱圧着ボンディングする。このとき、前述のように第2の接合用金属層53により化合温度が下げられた状態において電極110のCuと第1の接合用金属層52のSnとが化合する液相拡散により、電極110と金バンプ電極40との間に液相拡散接合層56が生成され、この液相拡散接合層56により電極110と金バンプ電極40との間が電気的かつ機械的に接合される。加熱ステージ61、加熱加圧ツール62のそれぞれの加熱設定温度は、30℃〜50℃の若干の低下分を考慮して、70℃〜200℃の範囲内に設定される。このような低い温度範囲において、液相拡散接合層56は充分な接合強度を得ることができる。

【0048】(6) 図11に示すように、半導体素子20の主面を被覆する保護樹脂30を形成する。保護樹脂30は、例えば滴下塗布法により、基板10の中央部分の開口10Hを通して例えば流動性を有するポリイミド系樹脂を充填し、この充填されたポリイミド系樹脂を硬化させることにより形成することができる。

【0049】(7) 図12に示すように、半導体素子20を被覆し保護するスティフナー31を取り付けることにより、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1を完成させることができる。

【0050】(8) この後、半導体装置1の基板10の外部端子12に半田ボール電極41が形成される。

【0051】このような本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1の製造方法においては、電極110の液相拡散金属(Cu)と第1の接合用金属層(Sn)52との化合温度（液相拡散温度）を第2の接合用金属(Bi)53により下げることができるので、電極110と

金バンプ電極40との間の接合温度を下げて低温プロセスを実現することができる。

【0052】[変形例]

(1) 上記本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1において、基板10の電極110には、Cu箔膜以外の液相拡散金属として、Au箔膜、Al箔膜、Ni箔膜等を実用的に使用することができる。

【0053】(2) 本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1において、第1の接合用金属層52の第1の接合用金属には、Snの他に、Pb若しくはIn、又はそれらいずれかを主成分とする二元以上の合金が少なくとも含まれる。例えば、第1の接合用金属には、97原子% In-3原子% Ag、52原子% In-48原子% Sn、50.9原子% In-49.1原子% Sn、57原子% Bi-43原子% Sn、58原子% Bi-42原子% Sn、55原子% Bi-45原子% Pb、55.5原子% Bi-44.5原子% Pb、33.3原子% Bi-66.7原子% In、67原子% Bi-33原子% In等の二元合金、80原子% In-15原子% Pb-5原子% Ag、46原子% Bi-34原子% Sn-20原子% Pb等の三元合金、49原子% Bi-21原子% In-18原子% Pb-12原子% Sn等の四元合金が含まれる。さらに、第1の接合用金属層52にはガリウム(Ga)を含むことができる。

【0054】(3) 本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1において、第2の接合用金属層53の第2の接合用金属には、Biの他に、少なくともAg若しくはIn、又はBi、Ag若しくはInのいずれかを主成分とする二元以上の合金が含まれる。

【0055】(第2の実施の形態) 本発明の第2の実施の形態は、ボールボンディングアレイ構造を採用し、かつビームリード-インナーリードボンディング(以下、単にBL-ILBという。)方式を採用する半導体装置(電子デバイス)に本発明を適用した例を説明するものである。

【0056】[半導体装置の構造] 図14に示すように、本発明の第2の実施の形態に係るBL-ILB方式を採用する半導体装置2は、基板70と、基板70上のビームリード構造でマウントされた半導体素子(半導体チップ)20と、半導体素子20を保護する保護樹脂32と、半導体素子20を保護するスティフナー31とを備えて構築されている。さらに、半導体装置2は、基板70の裏面に配設された外部端子72上に半田ボール電極41を備えている。

【0057】基板70には、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1と同様に、低い耐熱性を有するTABテープ基板が使用され、例えば150℃~300℃の範囲の耐熱性を有するポリイミド系樹脂テープ基板を実用的に使用することができる。

【0058】基板70の裏面上(図中下側表面)にはリ

ード71が配設されている。このリード71は、図示しないが、図1(A)に示すリード配線11と同様に接着層16を介在させて基板70の表面に接着されている。基板10の中央部分(半導体素子20のマウント領域)には開口70Hを有しており、この開口70Hにはリード711の一端側が電極(ビームリード)710として突出されている。この電極710は、本発明に係る「電極」、「第1の電極」又は「第2の電極」の一具体例に対応するものである。基板70の周辺部分においてリード71の他端側は外部端子72に電気的に接続されている。リード71並びにそれに一体的に構成された電極710は電気伝導性に優れ、かつ液相拡散金属である例えばCu箔膜を実用的に使用することができ、このCu箔膜は例えば20μmの膜厚で形成されている。リード71の少なくとも電極710の表面には研磨処理、Cuめっき処理等を行い、電極710の表面粗さRmaxは0.2μm以下に設定されることが好ましい。外部端子72には、リード71と同様に、例えばCu箔膜を実用的に使用することができる。

【0059】基板70において、裏面側はリード71の電極710の領域を除きソルダーレジスト膜74により被覆されている。

【0060】半導体素子20は、本発明の第1の実施の形態に係る半導体素子20と同様であり、その主面を基板70の表面に向かい合わせたフェイスダウン方式でマウントされている。半導体素子20の主面には複数のボンディングパッド(電極)21が配設されている。

【0061】そして、図14及び図15に示すように、本発明の第2の実施の形態に係る半導体装置2においては、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1と同様に、少なくとも表面層に液相拡散金属(例えばCu)を有するリード71の電極710と、液相拡散金属、この液相拡散金属に化合させる第1の接合用金属(例えばSn)、及び液相拡散金属と第1の接合用金属との化合温度を下げる第2の接合用金属(例えばBi)を少なくとも含む、電極710上の液相拡散接合層56と、液相拡散接合層56上の金バンプ電極40とを備え、液相拡散接合層56及び金バンプ電極40とを介在させて電極710と半導体素子20のボンディングパッド21との間が電気的かつ機械的に接続されている。液相拡散接合層56は、実際は、電極710上のCu₃Snからなる第1の接合層56Aと、この第1の接合層56A上のCu₆Sn₅からなる第2の接合層56Bとにより構成されている。

【0062】半導体素子20のボンディングパッド21と金バンプ電極40の間はバリヤメタル層55を介在して電気的かつ機械的に接合されている。図14に示すように、半導体素子20の少なくとも主面(素子形成面)は保護樹脂32により被覆されている。この保護樹脂32には例えばポリイミド系樹脂を実用的に使用する

ことができる。

【0063】このように構成される本発明の第2の特徴に係る半導体装置2においては、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1と同様に、電極710とそれに接続される他の金パンプ電極40との間の液相拡散による接合温度を第2の接合用金属（例えばBi）により下げ、なおかつ双方の間の接合強度を第2の接合用金属により高めることができるので、部品、材料等の耐熱温度、特に基板70の耐熱温度を下げるることができる。従って、基板70には耐熱温度が低い、例えば300℃以下

の耐熱温度を有しかつ安価な、銅箔/接着層/ポリイミド系樹脂のテープ基材を使用することができるので、半導体装置2の製品コストを削減することができる。

【0064】〔半導体装置の製造方法〕次に、本発明の第2の実施の形態に係る半導体装置2の製造方法を、図16及び図17を使用して説明する。

【0065】（1）本発明の第2の実施の形態に係る半導体装置2の製造方法は、図示しないが、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1の製造方法と同様に、まず最初に基板70が準備され、基板70のリード71の電極（ビームリード）710の表面上に第1の接合用金属層（例えばSn）52、第2の接合用金属層（例えばBi）53のそれぞれを順次形成する。

【0066】（2）熱圧着ボンディング装置（図16参照。）60において、加熱ステージ61上にフェイスアップで半導体素子20を載置保持する。半導体素子20においては、ボンディングパッド21上にバリヤメタル層55を介在させて金パンプ電極40が配設された状態にある。図16に示すように、加熱ステージ61に載置し保持された半導体素子20と加熱ステージ61上に対向配設された加熱加圧ツール62との間に基板70を位置決め配置する。この位置決め配置により、半導体素子20のボンディングパッド21上に金パンプ電極40を介在させて基板70の電極710が位置決めされる。

【0067】（3）図17に示すように、加熱加圧ツール62により基板70の電極710の裏面（図17中上側表面）を加熱するとともに加圧し、半導体素子20のボンディングパッド21と基板70の電極710との間を金パンプ電極40を介在させて熱圧着ボンディングする。このとき、前述のように第2の接合用金属層53により化合温度が下げられた状態において電極710のCuと第1の接合用金属層52のSnとが化合する液相拡散により、電極710と金パンプ電極40との間に液相拡散接合層56が生成され、この液相拡散接合層56により電極710と金パンプ電極40との間が電氣的かつ機械的に接合される。加熱ステージ61、加熱加圧ツール62のそれぞれの加熱設定温度は、70℃～200℃の範囲内に設定される。このような低い温度範囲において、液相拡散接合層56は充分な接合強度を得ることができる。

【0068】（4）半導体素子20の主面を被覆する保護樹脂32を形成する（図14参照。）。保護樹脂32は、例えば滴下塗布法により、基板70の中央部分の開口70Hを通して例えば流動性を有するポリイミド系樹脂を充填し、この充填されたポリイミド系樹脂を硬化させることにより形成することができる。

【0069】（5）半導体素子20を被覆し保護するスティフナー31を取り付けることにより、本発明の第2の実施の形態に係る半導体装置2を完成させることができる（図14参照。）。

【0070】（6）この後、半導体装置2の基板70の外部端子72に半田ボール電極41が形成される。

【0071】このような本発明の第2の実施の形態に係る半導体装置2の製造方法においては、電極710の液相拡散金属（Cu）と第1の接合用金属層（Sn）52との化合温度（液相拡散温度）を第2の接合用金属（Bi）53により下げることができるので、電極710と金パンプ電極40との間の接合温度を下げて低温度プロセスを実現することができる。

【0072】（第3の実施の形態）本発明の第3の実施の形態は、レジンモールド構造を採用する半導体装置（電子デバイス）に本発明を適用した例を説明するものである。

【0073】図18に示すように、本発明の第3の実施の形態に係る半導体装置3は、タブ（タブリード）80Aと、このタブ80A上にフェイスアップ方式でマウントされた半導体素子20と、半導体素子20のボンディングパッド21にボンディングワイヤ81を通してインナーリードが電氣的に接続されたリード80Bと、タブ80A、半導体素子20及びリード80Bのインナーリードを気密封止する樹脂封止部82とを備えて構築されている。

【0074】本発明の第3の実施の形態において、タブ80A及びリード80Bは同一リードフレームに一体的に形成されていたものを半導体装置3の製造プロセス（組立プロセス）においてリードフレームの枠体から切断し成型したものである。このタブ80A及びリード80Bには、例えば、電気伝導性に優れたCu板、Cu合金板、鉄ニッケル（Fe-Ni）合金板等を実用的に使用することができる。また、タブ80A及びリード80Bは全体的に例えば鉄ニッケル合金で形成し、少なくともタブ80Aの表面層にCuクラッド層を形成したものでよい。

【0075】半導体素子20は液相拡散接合層56を介在させてタブ80Aに接合されている。液相拡散接合層56は、上記本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1と同様に、タブ80A上のCu₃Snからなる第1の接合層56Aと、この第1の接合層56A上のCu₆Sn₅からなる第2の接合層56Bと、さらに第2の接合層56B上にCu₃Snからなる第3の接合層56C

とを備えて構成されている。図19に示すように、半導体素子20のタブ80A上へのマウント前、すなわち液相拡散処理前においては、タブ80A上に液相拡散金属層54A、第1の接合用金属層52A、第2の接合用金属層53Aのそれぞれが順次形成されており、半導体素子20の裏面上に液相拡散金属層54B、第3の接合用金属層52B、第4の接合用金属層53Bのそれぞれが順次形成されている。本発明の第3の実施の形態に係る半導体装置3において、液相拡散金属層54A、54Bのそれぞれには、液相拡散金属である例えばCuめっき層を10 実用的に使用することができる。第1の接合用金属層52A、第3の接合用金属層52Bのそれぞれには、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1の第1の接合用金属層52と同様にSnめっき層を実用的に使用することができる。さらに、第2の接合用金属層53A、第4の接合用金属層53Bには、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1の第2の接合用金属層53と同様にBiめっき層を実用的に使用することができる。

【0076】液相拡散処理は、例えば150℃~200℃の温度において、10秒間加熱することにより、第2 20 の接合用金属層53Aによって化合温度が下げられた状態でタブ80A上の液相拡散金属層54Aと第1の接合用金属層52Aとを化合させ、第1の接合層56A並びに第2の接合層56Bの一部を生成することができ、第4の接合用金属層53Bによって化合温度が下げられた状態で半導体素子20の裏面上の液相拡散金属層54Bと第3の接合用金属層52Bとを化合させ、第3の接合層56C並びに第2の接合層56Bの残りの一部を生成することができ、液相拡散接合層56を形成することができる。

【0077】なお、液相拡散金属層54A、54B、第1の接合用金属層52A、第2の接合用金属層53A、第3の接合用金属層52B、第4の接合用金属層53Bのそれぞれの材料の変形例については、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1で説明した変形例と同様である。

【0078】本発明の第3の実施の形態に係る半導体装置3において、半導体素子20とタブ80Aの間は電気的に接続されており、例えばタブ80Aは半導体素子20に基板電源を供給する「電極」としても使用され、半導体素子20の裏面はこの基板電源の供給を受ける「電極」としても使用されている。

【0079】ボンディングワイヤ81には、例えばAuワイヤ、Cuワイヤ、Alワイヤ等を実用的に使用することができる。

【0080】樹脂封止部82には例えば熱硬化性のエポキシ系樹脂を実用的に使用することができ、この樹脂封止部82はトランスファモールディング法により形成されている。

【0081】このように構成される本発明の第3の特徴 50

に係る半導体装置3においては、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1、本発明の第2の実施の形態に係る半導体装置2のそれぞれと同様に、タブ（電極）80Aとそれに接続される他の半導体素子20（シリコン単結晶基板、電極）との間の液相拡散による接合温度を第2の接合用金属層（例えばBi）53A及び第4の接合用金属層53Bにより下げ、なおかつ双方の間の接合強度を第2の接合用金属層53A及び第4の接合用金属層53Bにより高めることができる。従って、タブ80A上に半導体素子20をマウントする場合の熱圧着ボンディングの温度を例えば300℃以下の低温度に設定することができ、極めて短時間においてマウントを行うことができる。樹脂接着剤を利用する場合にはマウントに1時間~3時間を必要としていたが、本発明の第3の実施の形態に係る半導体装置3においては例えば数十秒の範囲内でマウントを行うことができる。さらに、半導体素子20とタブ80Aとの間の液相拡散接合層56は熱伝導性に優れているので、放熱効果の高い半導体装置3を実現することができる。

【0082】（第4の実施の形態）本発明の第4の実施の形態は、ボールボンディングアレイ構造を採用する半導体装置（電子デバイス）に本発明を適用した例を説明するものである。

【0083】図20に示すように、本発明の第4の実施の形態に係るボールボンディングアレイ構造を採用する半導体装置4は、基板90と、基板90上のFC方式でマウントされた半導体素子（半導体チップ）20とを備えて構築されている。さらに、半導体装置4は、基板90の裏面に配設された外部端子92上に半田ボール電極41を備えている。

【0084】基板90には、エポキシ系樹脂基板、セラミックス基板等を実用的に使用することができる。基板90の表面上（図中上側表面）にはリード配線91が配設されている。このリード配線91は、図示しないが、図1（A）に示すリード配線11と同様に接着層を介在させて基板90の表面に接着されている。リード配線91の半導体素子20との接続部分は電極910として使用されている。この電極910は、本発明に係る「電極」、「第1の電極」又は「第2の電極」の一具体例に対応するものである。リード配線91は基板91を貫通する接続孔配線93を通して外部端子92に電気的に接続されている。リード配線91並びにそれに一体的に構成された電極910は電気伝導性に優れ、かつ液相拡散金属である例えばCu箔膜を実用的に使用することができ、このCu箔膜は例えば20μmの膜厚で形成されている。リード配線91の少なくとも電極910の表面には研磨処理、Cuめっき処理等を行い、電極910の表面粗さRmaxは0.2μm以下に設定されることが好ましい。外部端子92には、リード配線91と同様に、例えばCu箔膜を実用的に使用することができる。

【0085】半導体素子20は、本発明の第1の実施の形態並びに本発明の第2の実施の形態に係る半導体素子20と同様であり、その主面を基板90の表面に向かい合わせたフェイスダウン方式でマウントされている。半導体素子20の主面には複数のボンディングパッド（電極）21が配設されている。

【0086】そして、本発明の第4の実施の形態に係る半導体装置4においては、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1と同様に、少なくとも表面層に液相拡散金属（例えばCu）を有するリード配線91の電極910と、液相拡散金属、この液相拡散金属に化合させる第1の接合用金属（例えばSn）、及び液相拡散金属と第1の接合用金属との化合温度を下げる第2の接合用金属（例えばBi）を少なくとも含む、電極910上の液相拡散接合層56と、液相拡散接合層56上の銅パンプ電極42とを備え、液相拡散接合層56及び銅パンプ電極42とを介在させて電極910と半導体素子20のボンディングパッド21との間が電気的かつ機械的に接続されている。液相拡散接合層56は、本発明の第3の実施の形態に係る半導体装置3と同様に、実際は、電極910上のCu₃Snからなる第1の接合層56Aと、この第1の接合層56A上のCu₆Sn₅からなる第2の接合層56Bと、さらに第2の接合層56B上のCu₃Snからなる第3の接合層56Cとにより構成されている。

【0087】図21に示すように、半導体素子20の基板90へのマウント前、すなわち液相拡散処理前においては、リード配線91の少なくとも電極910上に第1の接合用金属層52A、第2の接合用金属53Aのそれぞれが順次形成されており、銅パンプ電極42上に第3の接合用金属層52B、第4の接合用金属層53Bのそれぞれが順次形成されている。銅パンプ電極42の表面は予め研磨処理、Cuめっき処理等を行い、電極910の表面粗さR_{max}は0.2μm以下に設定されることが好ましい。本発明の第4の実施の形態に係る半導体装置4において、第1の接合用金属層52A、第3の接合用金属層52Bのそれぞれには、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1の第1の接合用金属層52と同様にSnめっき層を実用的に使用することができる。さらに、第2の接合用金属層53A、第4の接合用金属層53Bには、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1の第2の接合用金属層53と同様にBiめっき層を実用的に使用することができる。

【0088】液相拡散処理は、例えば150℃～200℃の温度において、10秒間加熱することにより、第2の接合用金属層53Aによって化合温度が下げられた状態で電極910の液相拡散金属（Cu）と第1の接合用金属層52Aとを化合させ、第1の接合層56A並びに第2の接合層56Bの一部を生成することができ、第4の接合用金属層53Bによって化合温度が下げられた状

態で銅パンプ電極42の液相拡散金属と第3の接合用金属層52Bとを化合させ、第3の接合層56C並びに第2の接合層56Bの残りの一部を生成することができ、液相拡散接合層56を形成することができる。

【0089】なお、第1の接合用金属層52A、第2の接合用金属層53A、第3の接合用金属層52B、第4の接合用金属層53Bのそれぞれの材料の変形例については、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1で説明した変形例と同様である。

【0090】半導体素子20のボンディングパッド21と銅パンプ電極42との間はバリヤメタル層55を介在して電気的かつ機械的に接合されている。

【0091】このように構成される本発明の第4の特徴に係る半導体装置4においては、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1と同様に、電極910とそれに接続される他の銅パンプ電極42との間の液相拡散による接合温度を第2の接合用金属及び第4の接合用金属（例えばBi）により下げ、なおかつ双方の間の接合強度を第2の接合用金属及び第4の接合用金属により高めることができるので、部品、材料等の耐熱温度を下げるることができる。従って、300℃以下の低温度プロセスを採用することができる。特に、本発明の第4の実施の形態に係る半導体装置4においては、基板90の外部端子92に半田ボール電極（例えば融点温度180℃）41を形成した後に、この半田ボール電極41の融点よりも低い温度で液相拡散処理を行うことができるので、基板90に半導体素子20をボンディングすることができる。

【0092】（第5の実施の形態）本発明の第5の実施の形態は、本発明の第4の実施の形態に係る半導体装置4の応用例であり、ボールボンディングアレイ構造を採用し、かつ複数の半導体素子を積層化した半導体モジュール（電子デバイス）に本発明を適用した例を説明するものである。

【0093】図22に示すように、本発明の第5の実施の形態に係るボールボンディングアレイ構造を採用する半導体モジュール5は、基板90と、基板90上に三次元積層された複数の半導体素子（半導体チップ）201～204とを備えて構築されている。本発明の第5の実施の形態に係る半導体モジュール5は、4個の半導体素子201～204を積層化した例を説明しているが、その積層個数は4個に限定されず、例えば8個、16個等の積層が可能である。さらに、半導体モジュール5は、基板90の裏面に配設された外部端子92上の半田ボール電極41を備えている。

【0094】基板90には、本発明の第4の実施の形態に係る半導体装置4の基板90と同等のものを使用することができる。

【0095】半導体素子201～204は基本的には本発明の第1の実施の形態乃至本発明の第4の実施の形態

に係る半導体素子20と同様であるが、半導体素子201にはその表面(主面)のボンディングパッド21から裏面に貫通する貫通銅バンプ電極421が配設され、同様に半導体素子202には貫通銅バンプ電極422が、半導体素子203には貫通銅バンプ電極423が、半導体素子204には貫通銅バンプ電極424がそれぞれ配設されている。貫通銅バンプ電極421は、例えば半導体素子201にレーザ加工により貫通孔を形成し、この貫通孔に埋設することにより形成することができる。貫通銅バンプ電極421の半導体素子201の表面側は突出した電極421Aとして使用され、裏面側も突出した電極421Bとして使用されている。同様に、貫通銅バンプ電極422の半導体素子202の表面側は電極422Aとして使用され、裏面側は電極422Bとして使用されている。貫通銅バンプ電極423の半導体素子203の表面側は電極423Aとして使用され、裏面側は電極423Bとして使用されている。貫通銅バンプ電極424の半導体素子204の表面側は電極424Aとして使用され、裏面側は電極424Bとして使用されている。

【0096】これらの貫通銅バンプ電極421~424のそれぞれには、電気伝導性に優れ、かつ液相拡散金属であるCu柱体を実用的に使用することができる。貫通銅バンプ電極421の電極421A、421B、貫通銅バンプ電極422の電極422A、422B、貫通銅バンプ電極423の電極423A、423B、貫通銅バンプ電極424の電極424A、424Bのそれぞれの表面は予め研磨処理、Cuめっき処理等を行い、表面粗さRmaxは0.2μm以下に設定されることが好ましい。半導体素子201においては、表面側に電極421A、裏面側に電極421Bを備えているので、フェイスアップ方式、フェイスダウン方式のいずれにおいても基板90上にボンディングすることができる。その他の半導体素子202~204についても同様である。

【0097】そして、本発明の第5の実施の形態に係る半導体モジュール5においては、本発明の第4の実施の形態に係る半導体装置4と同様に、少なくとも表面層に液相拡散金属(例えばCu)を有するリード配線91の電極910と、液相拡散金属、この液相拡散金属に化合させる第1の接合用金属(例えばSn)、及び液相拡散金属と第1の接合用金属との化合温度を下げる第2の接合用金属(例えばBi)を少なくとも含む、電極910上の液相拡散接合層56を備え、この液相拡散接合層56を介在させて電極910と半導体素子201の電極421Bとの間が電氣的かつ機械的に接続されている。液相拡散接合層56は、本発明の第4の実施の形態に係る半導体装置4と同様に、実際は、電極910上のCu₃Snからなる第1の接合層56Aと、この第1の接合層56A上のCu₆Sn₅からなる第2の接合層56Bと、さらに第2の接合層56B上のCu₃Snからなる

第3の接合層56Cとにより構成されている。

【0098】半導体素子201の基板90へのボンディング前、すなわち液相拡散処理前においては、リード配線91の少なくとも電極910上に第1の接合用金属層52A、第2の接合用金属53Aのそれぞれが順次形成されており、半導体素子201の電極421B上に第3の接合用金属層52B、第4の接合用金属層53Bのそれぞれが順次形成されている(図21参照)。液相拡散処理は、例えば150℃~200℃の温度において、10秒間加熱することにより、第2の接合用金属層53Aによって化合温度が下げられた状態で電極910の液相拡散金属(Cu)と第1の接合用金属層52Aとを化合させ、第1の接合層56A並びに第2の接合層56Bの一部を生成することができ、第4の接合用金属層53Bによって化合温度が下げられた状態で電極421Bの液相拡散金属(Cu)と第3の接合用金属層52Bとを化合させ、第3の接合層56C並びに第2の接合層56Bの残りの一部を生成することができ、液相拡散接合層56を形成することができる。

【0099】同様に、半導体素子201の電極421Aと半導体素子202の電極422Bとの間、半導体素子202の電極422Aと半導体素子203の電極423Bとの間、半導体素子203の電極423Aと半導体素子204の電極424Bとの間のいずれも液相拡散接合層56を介在させて電氣的かつ機械的に接続されている。

【0100】このように構成される本発明の第5の特徴に係る半導体モジュール5においては、本発明の第4の実施の形態に係る半導体装置4と同様に、電極910とそれに接続される半導体素子201の電極421Bとの間、半導体素子201の電極421Aと半導体素子202の電極422Bとの間、半導体素子202の電極422Aと半導体素子203の電極423Bとの間、半導体素子203の電極423Aと半導体素子204の電極424Bとの間の液相拡散による接合温度を、第2の接合用金属及び第4の接合用金属(例えばBi)により下げ、なおかつ双方の間の接合強度を第2の接合用金属及び第4の接合用金属により高めることができる。従って、300℃以下の低温度プロセスを採用することができる。特に、本発明の第5の実施の形態に係る半導体モジュール5においては、基板90の外部端子92に半田ボール電極41を形成した後に、この半田ボール電極41の融点よりも低い温度で液相拡散処理を行うことができるので、基板90に半導体素子201~204をボンディングすることができる。さらに、液相拡散処理が低い温度で行えるので、半導体素子201~204のそれぞれの間の残留応力を減少することができる。

【0101】(第6の実施の形態)本発明の第6の実施の形態は、本発明の第4の実施の形態に係る半導体装置4と本発明の第5の実施の形態に係る半導体モジュール

5とを組み合わせた半導体モジュール（電子デバイス）を説明するものである。

【0102】図23に示すように、本発明の第6の実施の形態に係る半導体モジュール6は、基板90と、基板90上にF C方式でボンディングされた半導体素子（半導体チップ）20とを備えた半導体装置4を、複数次元積層して構築されている。本発明の第6の実施の形態に係る半導体モジュール6は、2個の半導体装置4を積層化した例を説明しているが、その積層個数は2個に限定されず、例えば4個、8個、16個等の積層が可能である。さらに、半導体モジュール6において最下層の半導体装置4の基板90の裏面に配設された外部端子92には半田ボール電極41を備えている。

【0103】半導体モジュール6の半導体装置4の基板90と半導体素子20との間には本発明の第4の実施の形態に係る半導体装置4と同様に液相拡散接合層56及び銅パンプ電極42を介在させて接続されているが、上下に積層された半導体装置4間は中間配線基板900により電気的かつ機械的に接続されている。

【0104】中間配線基板900は、例えば半導体装置4の基板90と同等の材料で形成された基材の表面に電極901、裏面に電極902を備え、電極901と902との間は接続孔配線903により電気的に接続されている。電極901、902のそれぞれの少なくとも表面層には液相拡散金属を備えることが好ましく、本発明の第6の実施の形態において、電極901、902のそれぞれはCu箔膜で形成されている。

【0105】半導体装置4の基板90の電極911と中間配線基板900の裏面側の電極902との間、中間配線基板900の表面側の電極901と半導体装置4の基板90の外部端子（電極）92のそれぞれの間は、液相拡散接合層56と同様の液相拡散接合層58により電気的かつ機械的に接続されている。

【0106】このように構成される本発明の第6の特徴に係る半導体モジュール6においては、本発明の第5の実施の形態に係る半導体モジュール5と同様に、半導体装置4の基板90の電極911とそれに接続される中間配線基板900の電極902との間、中間配線基板900の電極901と半導体装置4の基板90の外部端子92との間の液相拡散による接合温度を、第2の接合用金属及び第4の接合用金属（例えばBi）により下げ、なおかつ双方の間の接合強度を第2の接合用金属及び第4の接合用金属により高めることができる。従って、300℃以下の低温度プロセスを採用することができる。

【0107】（第7の実施の形態）本発明の第7の実施の形態は、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1において、基板10の電極110と金パンプ電極40との間の接合強度をより一層向上させることができる例を説明するものである。

【0108】本発明の第7の実施の形態は、本発明の第

1の実施の形態に係る半導体装置1において、基板10上のリード配線11の少なくとも電極110の表面、すなわち液相拡散接合層56の形成表面を液相拡散処理前に平坦化したものである。図24に示すように、この電極110の表面の平坦化（平坦化領域を符号Fで示す。）は例えば熱圧着ボンディング装置60の加熱加圧ツール62による打痕で行うことができる。加熱加圧ツール62の電極接触面は例えば鏡面仕上げを行っていることが好ましく、例えば電極110の表面粗さ R_{max} は0.2 μm 以下に生成することが好ましい。

【0109】本発明者が実施した基礎研究によれば、銅箔の表面粗さ R_{max} が1.6 μm 、液相拡散処理の接合温度が400℃、接合時間が10秒、接合加重が50MPaの条件下において液相拡散接合層は約3 μm の厚さで生成されたのに対して、銅箔の表面粗さ R_{max} が0.2 μm 、液相拡散処理の接合温度が300℃、接合時間が10秒、接合加重が50MPaの条件下において液相拡散接合層は約1 μm の厚さで生成することができた。すなわち、前者の条件に対して、後者のように銅箔の表面粗さを小さくすればするほど、低温度において液相拡散接合層を厚く生成することができる。

【0110】なお、電極110の平坦化は、直接、液相拡散金属の表面に行ってもよいし、電極110の表面上に第1の接合用金属層52、第2の接合用金属層53のそれぞれを形成した後（めっき後）に行ってもよい。さらに、例えば電極110上に電極110のパターンニングレジスト膜や保護レジスト膜が形成されている状態で平坦化を実施してもよい。

【0111】このように本発明の第7の実施の形態に係る半導体装置1においては、液相拡散接合層56を形成する電極110の表面を平坦化することにより、液相拡散接合層56の接合厚さを厚くすることができ、接合強度を向上することができるとともに、液相拡散温度を下げることができ、低温プロセス化を実現することができる。

【0112】（第8の実施の形態）本発明の第8の実施の形態は、本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1乃至本発明の第4の実施の形態に係る半導体装置4、本発明の第5の実施の形態に係る半導体モジュール5、本発明の第6の実施の形態に係る半導体モジュール6、並びに本発明の第7の実施の形態に係る半導体装置1において、液相拡散接合層56、58のそれぞれの接合強度をより一層向上させた例を説明するものである。

【0113】本発明の第8の実施の形態は、半導体装置1の基板10の電極110等の液相拡散金属を圧延薄膜（圧延箔膜）としたことである。圧延薄膜は液相拡散金属に圧延処理を施した薄膜であり、例えば圧延Cu箔膜は100℃～300℃の低温度において1 μm ～20 μm の粒径の範囲で再結晶化される性質を有している。この圧延Cu箔膜は例えば電解Cu箔膜の再結晶化の粒径

に比べて大きな粒径サイズを有している。

【0114】図25は液相拡散処理の接合温度と液相拡散接合層の接合強度との関係を示している。図25中、データ(A)は、圧延Cu箔膜上に4 μ mの膜厚のSn(第1の接合用金属)、1 μ mの膜厚のBi(第2の接合用金属)のそれぞれを形成し、互いにBi同士を向かい合せ、圧延Cu箔膜同士を重ね合わせた状態で生成した液相拡散接合層の特性である。接合時間は10秒、接合加重は50MPaである。以下、この条件は同一である。データ(B)は、電解Cu箔膜上に4 μ mの膜厚のSn、1 μ mの膜厚のBiのそれぞれを形成し、互いにBi同士を向かい合せ、電解Cu箔膜同士を重ね合わせた状態で生成した液相拡散接合層の特性である。データ(B)に比べて、データ(A)すなわち圧延Cu箔膜で生成された液相拡散接合層の方が接合温度も低く、接合強度も数倍から数十倍高くなる。特に、電解Cu箔膜で生成された液相拡散接合層においては約300℃以下の接合強度がゼロになるが、圧延Cu箔膜で生成された液相拡散接合層においては十分な接合強度を得ることができる。

【0115】また、図25には、圧延Cu箔膜上に4 μ mの膜厚のSn、1 μ mの膜厚のBiのそれぞれを形成し、このBiにAu(金バンプ電極40に相当する)を重ね合わせた状態で生成した液相拡散接合層の特性をデータ(a)として、電解Cu箔膜上に4 μ mの膜厚のSn、1 μ mの膜厚のBiのそれぞれを形成し、このBiにAuを重ね合わせた状態で生成した液相拡散接合層の特性をデータ(b)として示している。同様に、データ(b)に比べて、データ(a)すなわち圧延Cu箔膜とAuとで生成された液相拡散接合層の方が接合温度が低い範囲で高い接合強度を得ることができる。特に、260℃以下の接合温度において、液相拡散接合層の接合強度は上昇する傾向を示している。

【0116】このように構成される本発明の第8の実施の形態に係る半導体装置又は半導体モジュール(電子デバイス)においては、液相拡散金属を圧延薄膜としたことにより、液相拡散金属の粒径サイズを大きくし、接合面積を増加することができるので、液相拡散接合層の接合強度を向上することができる。さらに、液相拡散接合層は低温度において高い接合強度を得ることができる。

【0117】(その他の実施の形態)本発明は上記複数の実施の形態によって記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなろう。

【0118】例えば、本発明は、マザーボード、ドータボード等の実装基板上に本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置1等を実装する電子デバイス、上記実装基板上に本発明の第5の実施の形態に係る半導体モジュール5若しくは本発明の第6の実施の形態に係る半導体モ

ジュール6を実装する電子デバイス等に適用することができる。これらの実装には液相拡散接合層が使用される。

【0119】さらに、本発明は、電極間の接合に液相拡散接合層を使用する場合に限らず、例えば液相拡散金属であるセラミックス(Al_2O_3)を少なくとも表面層に有する基板上に液相拡散接合層を形成して電子部品等を接合する場合にも適用することができる。

【0120】このように、本発明はここでは記載していない様々な実施の形態等を含むことは勿論である。従って、本発明の技術的範囲は上記の妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

【0121】

【発明の効果】本発明は、低温度において接合可能な電極を有する電子デバイスを提供することができる。

【0122】さらに、本発明は、耐熱性を必要としない部品、材料等の使用により、製品コストを減少することができる電子デバイスを提供することができる。

【0123】さらに、本発明は、電極の接合強度を向上することができ、電極の接合部の電気的かつ機械的信頼性を向上することができる電子デバイスを提供することができる。

【0124】さらに、本発明は、電極間の接合を低温度に行うことができる電子デバイスの製造方法を提供することができる。

【0125】さらに、本発明は、製造コストを減少することができる電子デバイスの製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係るボールグリッドアレイ構造を採用する半導体装置において、(A)は熱圧着ボンディング後の電極部分の拡大断面図、(B)は熱圧着ボンディング前の電極部分の拡大断面図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態に係るボールグリッドアレイ構造を採用する半導体装置の断面構造図である。

【図3】(A)乃至(C)は本発明の第1の実施の形態に係る液相拡散接合層の生成過程を示す工程断面図である。

【図4】(A)乃至(C)は本発明の第1の実施の形態に係る他の液相拡散接合層の生成過程を示す工程断面図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態に係る液相拡散接合層の生成量とアニール温度との関係を示す図である。

【図6】本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置の工程断面図である。

【図7】図6に続く本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置の工程断面図である。

【図 8】図 7 に続く本発明の第 1 の実施の形態に係る半導体装置の工程断面図である。

【図 9】図 8 に続く本発明の第 1 の実施の形態に係る半導体装置の工程断面図である。

【図 10】図 9 に続く本発明の第 1 の実施の形態に係る半導体装置の工程断面図である。

【図 11】図 10 に続く本発明の第 1 の実施の形態に係る半導体装置の工程断面図である。

【図 12】図 11 に続く本発明の第 1 の実施の形態に係る半導体装置の工程断面図である。

【図 13】図 12 に続く本発明の第 1 の実施の形態に係る半導体装置の工程断面図である。

【図 14】本発明の第 2 の実施の形態に係るボールグリッドアレイ構造を採用する半導体装置の断面構造図である。

【図 15】本発明の第 2 の実施の形態に係るボールグリッドアレイ構造を採用する半導体装置において、熱圧着ボンディング後の電極部分の拡大断面図である。

【図 16】本発明の第 2 の実施の形態に係る半導体装置の工程断面図である。

【図 17】図 16 に続く本発明の第 2 の実施の形態に係る半導体装置の工程断面図である。

【図 18】本発明の第 3 の実施の形態に係る半導体装置の断面構造図である。

【図 19】本発明の第 3 の実施の形態に係る半導体装置の要部の工程断面図である。

【図 20】本発明の第 4 の実施の形態に係る半導体装置の断面構造図である。

【図 21】本発明の第 4 の実施の形態に係る半導体装置の要部の工程断面図である。

【図 22】本発明の第 5 の実施の形態に係る半導体モジュールの断面構造図である。

【図 23】本発明の第 6 の実施の形態に係る半導体モジュールの断面構造図である。

【図 24】本発明の第 7 の実施の形態に係る半導体装置の熱圧着ボンディング工程における工程断面図である。

【図 25】本発明の第 8 の実施の形態に係る液相拡散接合層の接合温度と接合強度との関係を示す図である。

【符号の説明】

1～4 半導体装置

5、6 半導体モジュール

10、70、90 基板

110、710、910、421A、421B、422

A、422B、423A、423B、424A、424

B、901、902 電極

10 11、91 リード配線

12、72、92 外部端子

13、93、903 接続孔配線

20、201～204 半導体素子

21 ボンディングパッド

40 金バンプ電極

42 銅バンプ電極

52、52A 第 1 の接合用金属層

53、53A 第 2 の接合用金属層

52B 第 3 の接合用金属層

20 53B 第 4 の接合用金属層

54A、54B 液相拡散金属層

55 バリヤメタル層

56 液相拡散接合層

56A 第 1 の接合層

56B 第 2 の接合層

56C 第 3 の接合層

60 熱圧着ボンディング装置

61 加熱ステージ

62 加熱加圧ツール

30 71、80B リード

80A タブ

81 ワイヤ

82 樹脂封止部

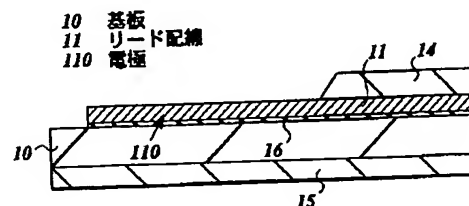
421、422、423、424 貫通銅バンプ電極

900 中間配線基板

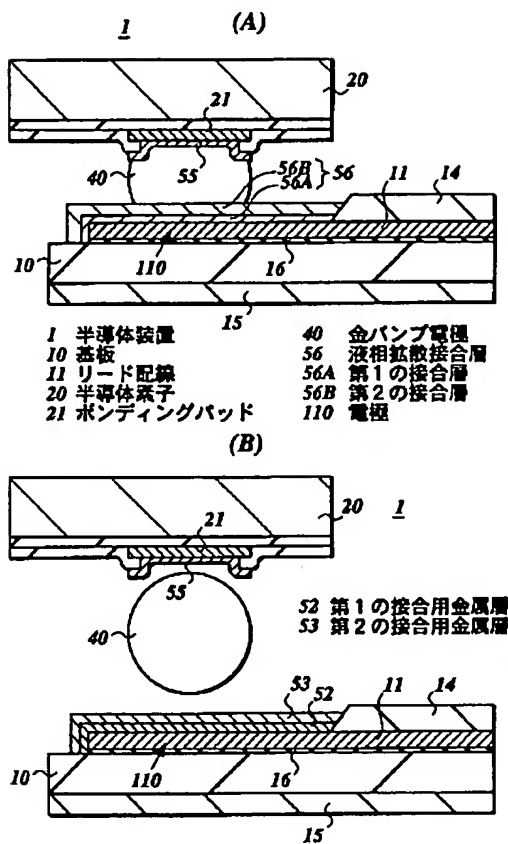
【図 5】

(hour)	Sn めっき層の単層		Sn めっき層と Bi めっき層と複合層	
	Cu ₃ Sn	Cu ₆ Sn ₅	Cu ₃ Sn	Cu ₆ Sn ₅
0	0	0	0	0
24	1	3	1.5	6
144	3	5	4	11

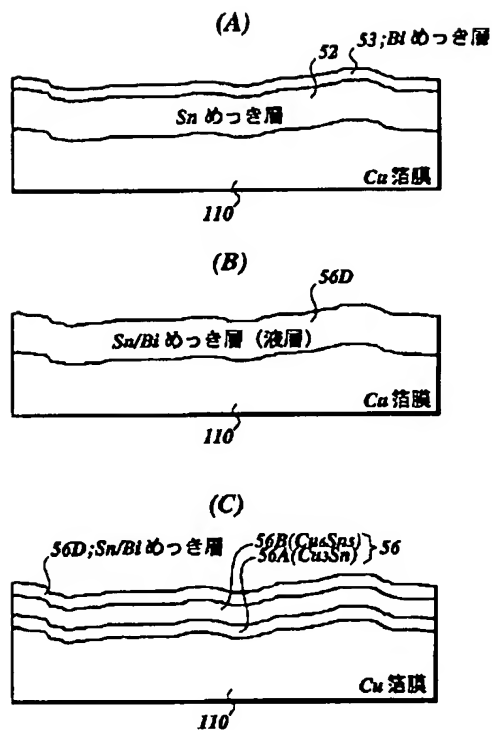
【図 6】



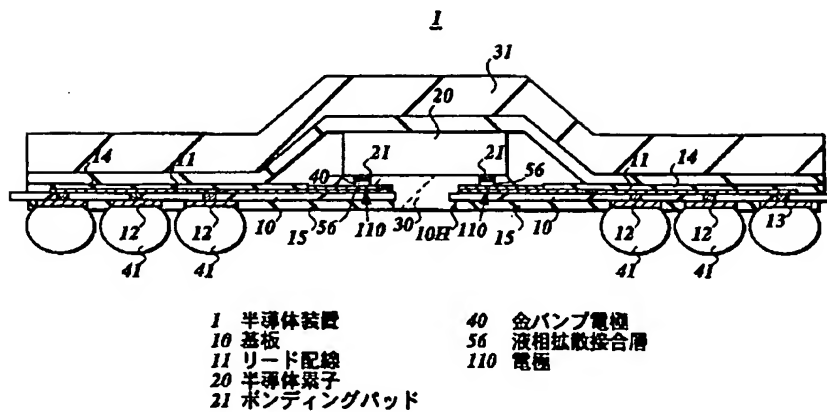
【图 1】



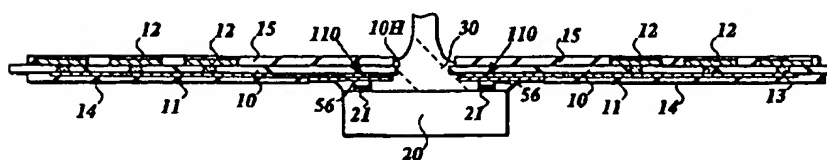
【図 3】



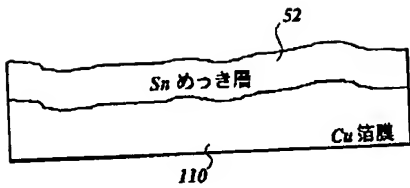
【図 2】



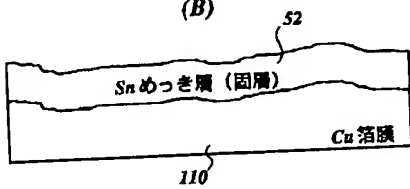
【図 1 1】



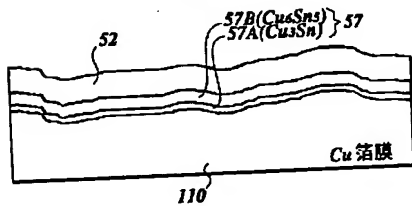
【図4】



(B)

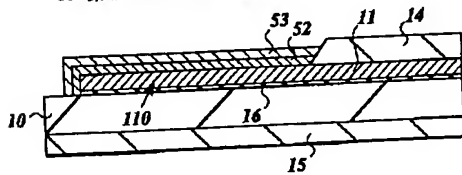


(C)

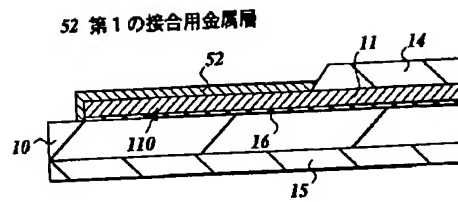


【図8】

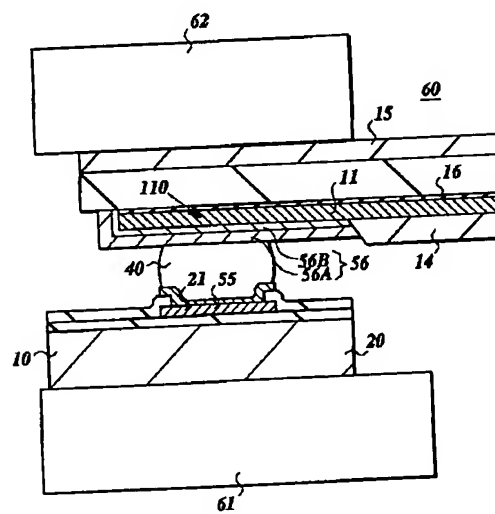
52 第1の接合用金属層
53 第2の接合用金属層



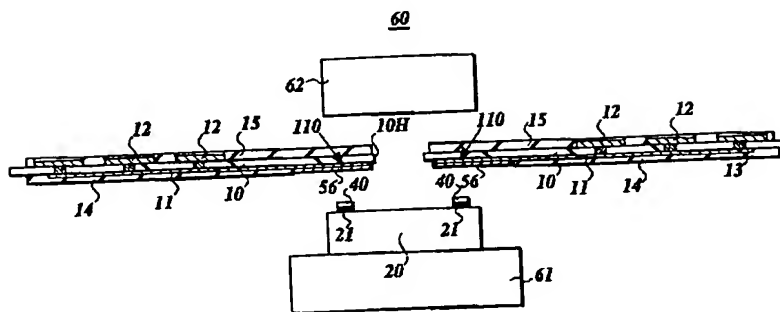
【図7】



【図10】

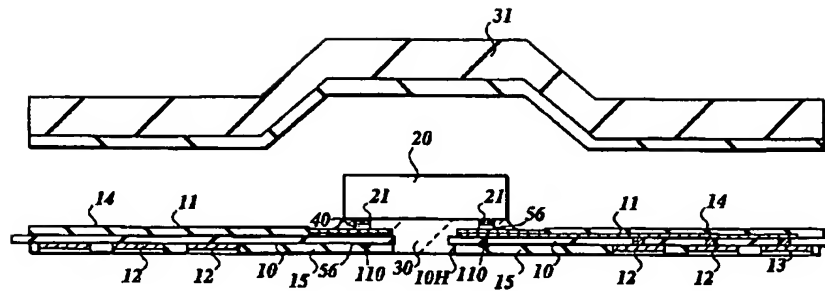


【図9】

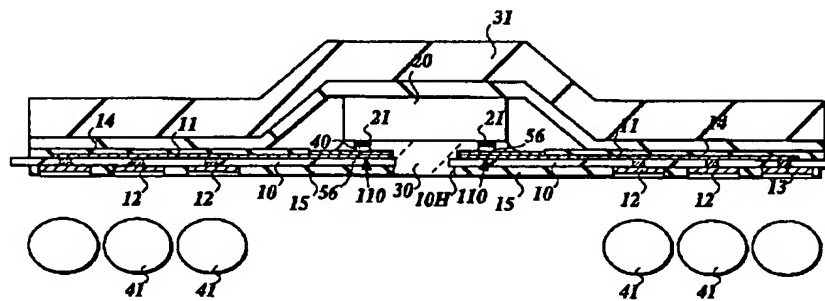


60 熱圧着ボンディング装置
61 加熱ステージ
62 加熱加圧ツール

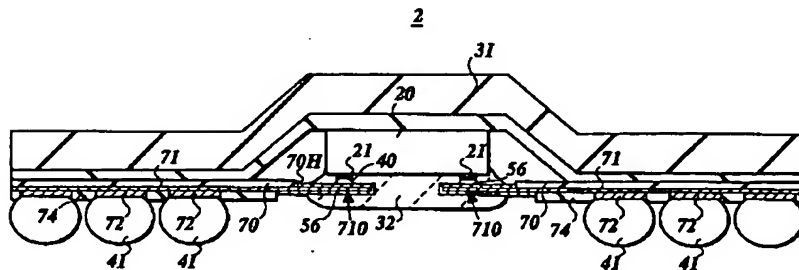
【図12】



【図13】

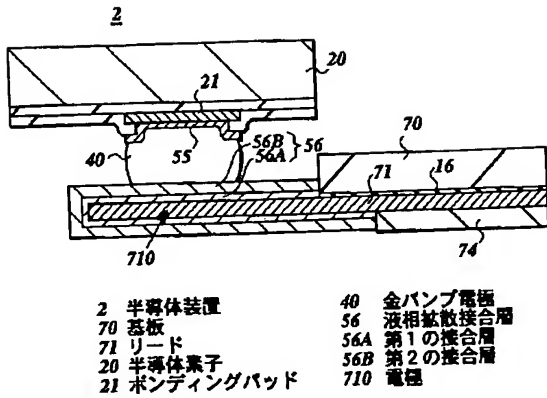


【図14】

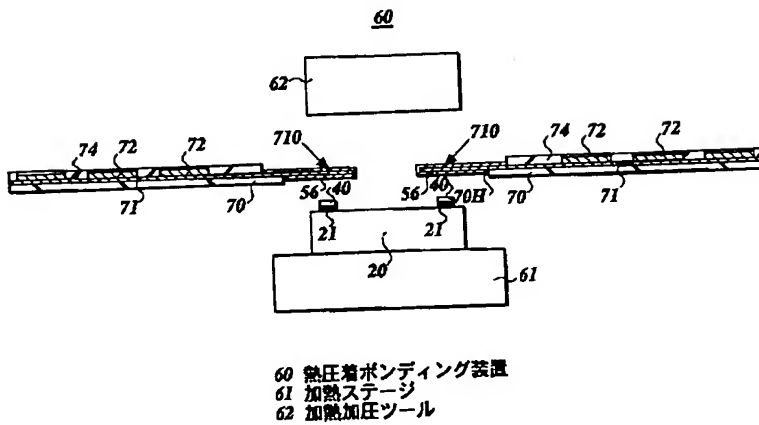


- | | |
|--------------|----------------|
| 2 半導体装置 | 40 金バンプ電極 |
| 70 基板 | 56 添相拡散接合層 |
| 71 リード | 710 電極（ビームリード） |
| 20 半導体素子 | |
| 21 ボンディングパッド | |

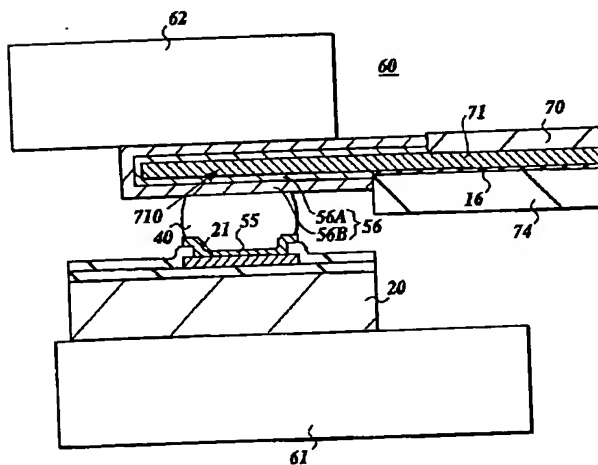
【図15】



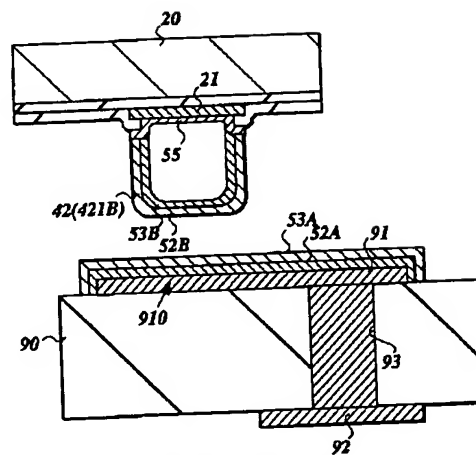
【図16】



【図17】

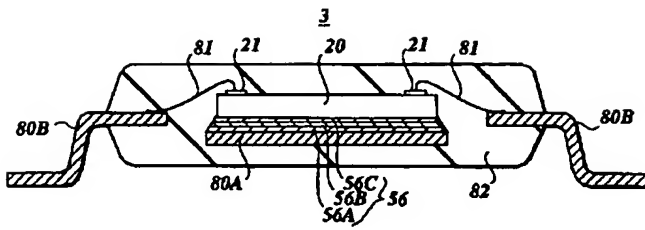


【図21】



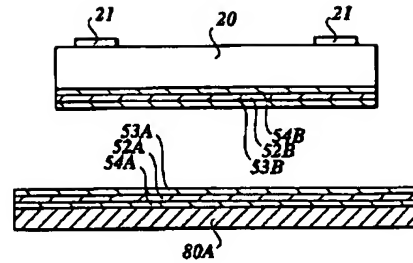
52A 第1の接合用金属層
53A 第2の接合用金属層
52B 第3の接合用金属層
53B 第4の接合用金属層
42 銅バンパ電極

【図18】



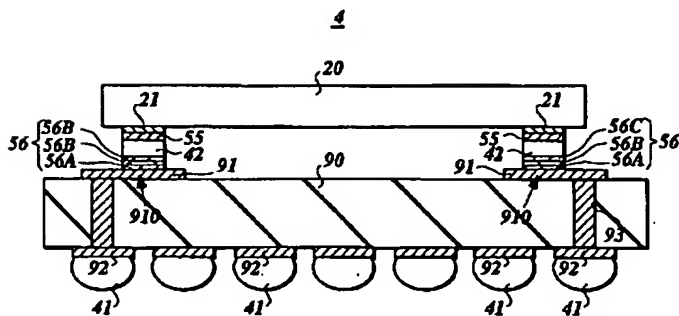
- | | | | |
|-----|------------|-----|---------|
| 3 | 半導体装置 | 56 | 液相拡散接合層 |
| 80A | カップ (電極) | 56A | 第1の接合層 |
| 80B | リード | 56B | 第2の接合層 |
| 20 | 半導体素子 (電極) | 56C | 第3の接合層 |
| 21 | ボンディングパッド | | |

【図19】



- | | |
|----------|-----------|
| 80B | タブ |
| 20 | 半導体素子 |
| 21 | ボンディングパッド |
| 54A, 54B | 液相拡散金属層 |
| 52A | 第1の接合用金属層 |
| 53A | 第2の接合用金属層 |
| 52B | 第3の接合用金属層 |
| 53B | 第4の接合用金属層 |

【図20】



- | | | | |
|----|-----------|-----|---------|
| 4 | 半導体装置 | 42 | 銅パンプ電極 |
| 90 | 基板 | 56 | 液相拡散接合層 |
| 91 | リード配線 | 56A | 第1の接合層 |
| 20 | 半導体素子 | 56B | 第2の接合層 |
| 21 | ボンディングパッド | 56C | 第3の接合層 |
| | | 910 | 電極 |

5 半導体装置
90 基板
91 リード配線
56 液相拡散接合層
56A 第1の接合層
56B 第2の接合層
56C 第3の接合層
201-204 半導体素子
21 ボンディングパッド
421-424 貫通銅バンプ電極
421A-424A 電極
421B-424B 電極

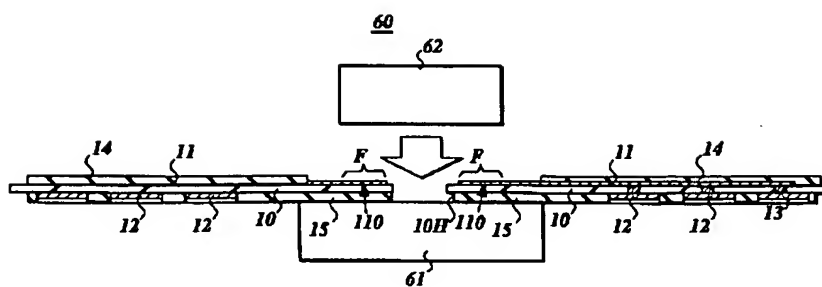
Figure 6 is a cross-sectional view of a semiconductor device. It shows two semiconductor elements (6) mounted on a substrate (90). Each element is connected to a pump electrode (42) and a liquid phase dispersion connection layer (56, 58) through a first bonding layer (91) and a second bonding layer (92). The device also includes a bonding pad (21) and a lead wire (91).

Legend:

- 6 半導体装置 (Semiconductor device)
- 90 基板 (Substrate)
- 91 リード配線 (Lead wiring)
- 20 半導体素子 (Semiconductor element)
- 21 ボンディングパッド (Bonding pad)
- 42 銅パンプ電極 (Copper pump electrode)
- 56, 58 液相拡散接続層 (Liquid phase diffusion connection layer)
- 56A, 58A 第1の接合層 (1st bonding layer)
- 56B, 58B 第2の接合層 (2nd bonding layer)
- 56C, 58C 第3の接合層 (3rd bonding layer)
- 910, 911 電極 (Electrode)
- 901, 902 電極 (Electrode)

接合温度 (°C)	(A) 接合強度 (kgf)	(B) 接合強度 (kgf)	(C) 接合強度 (kgf)	(D) 接合強度 (kgf)
200	65	5	65	5
250	10	10	35	10
300	55	45	55	45
350	145	80	80	80
400	142	90	62	62

【図 24】



- 60 熱圧着ボンディング装置
 61 加熱ステージ
 62 加熱加圧ツール
 10 基板
 110 電極
 10F 平坦化領域

フロントページの続き

(72)発明者 蛭田 陽一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
 式会社東芝マイクロエレクトロニクスセン
 ター内

Fターム(参考) 5F044 MM25 NN08 QQ03

THIS PAGE BLANK (USPTO)